Esempio di modellazione del problema del “martellamento”

L’oggetto Link di FaTA Next

di Biagio Pisano – staff Stacec

Oltre alle numerose possibilità presenti per la modellazione automatica strutturale, **FaTA Next** consente la creazione di modelli avanzati, basati sull’utilizzo di particolari oggetti: i **Link**.

I **Link** sono degli oggetti di modellazione a **6 gradi di libertà** che connettono due nodi. Nella figura sottostante si riporta lo schema lo schema dell’oggetto, semplificando il concetto nel piano.

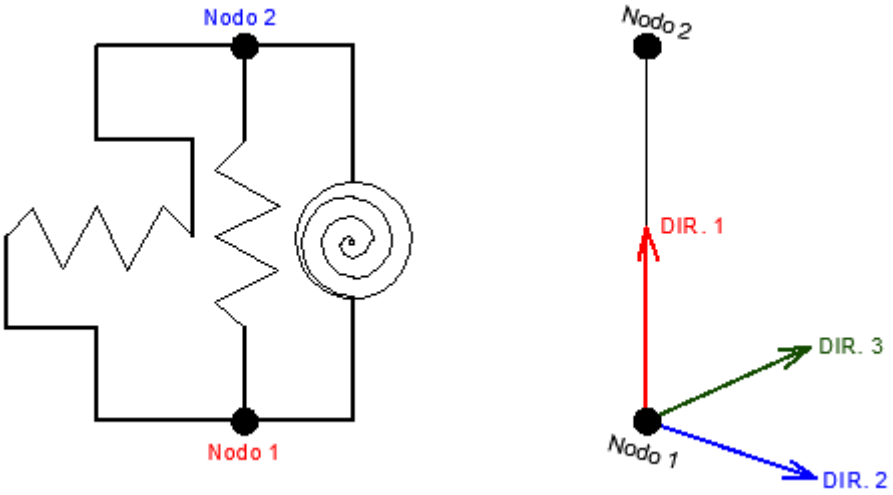

Figura 1: Schema del modello dell'oggetto Link

Generalizzando per le **tre dimensioni** è possibile assegnare i seguenti gradi di libertà locali:

1. Assiale (direzione 1 locale)
2. Trasversale (direzione 2 locale)
3. Trasversale (direzione 3 locale)
4. Rotazione torsionale (attorno all’asse 1 locale)
5. Rotazione flessionale (attorno all’asse 2 locale)
6. Rotazione flessionale (attorno all’asse 3 locale)

Per i 6 gradi di libertà è possibile attribuire un diverso comportamento (**Materiali uniassiali**) tra quelli disponibili in **FaTA Next**. Per i gradi di libertà traslazionali è possibile utilizzare i seguenti modelli di comportamento:

- Elastico
- Gap
- Bilineare
- Trilineare

Per quello rotazionale assiale è possibile utilizzare il comportamento elastico, mentre per i gadi di libertà rotazionali (Direzioni 5 e 6), i comportamenti disponibili sono:

- Elastico
- Trilineare

L'oggetto **Link** è personalizzabile nella posizione della sconnessione (iniziale, centro e finale) per l'inserimento delle molle, considerando la "distanza di taglio" per il trasporto dei momenti. Il **Link** può anche essere definito "**Rigido**" per tutte le sue componenti.

Comportamento elastico traslazionale

Il materiale uniassiale "**Elastico**" è caratterizzato da due rigidezze Kneg e Kpos relative ai due tipi di deformazione, negativa e positiva.

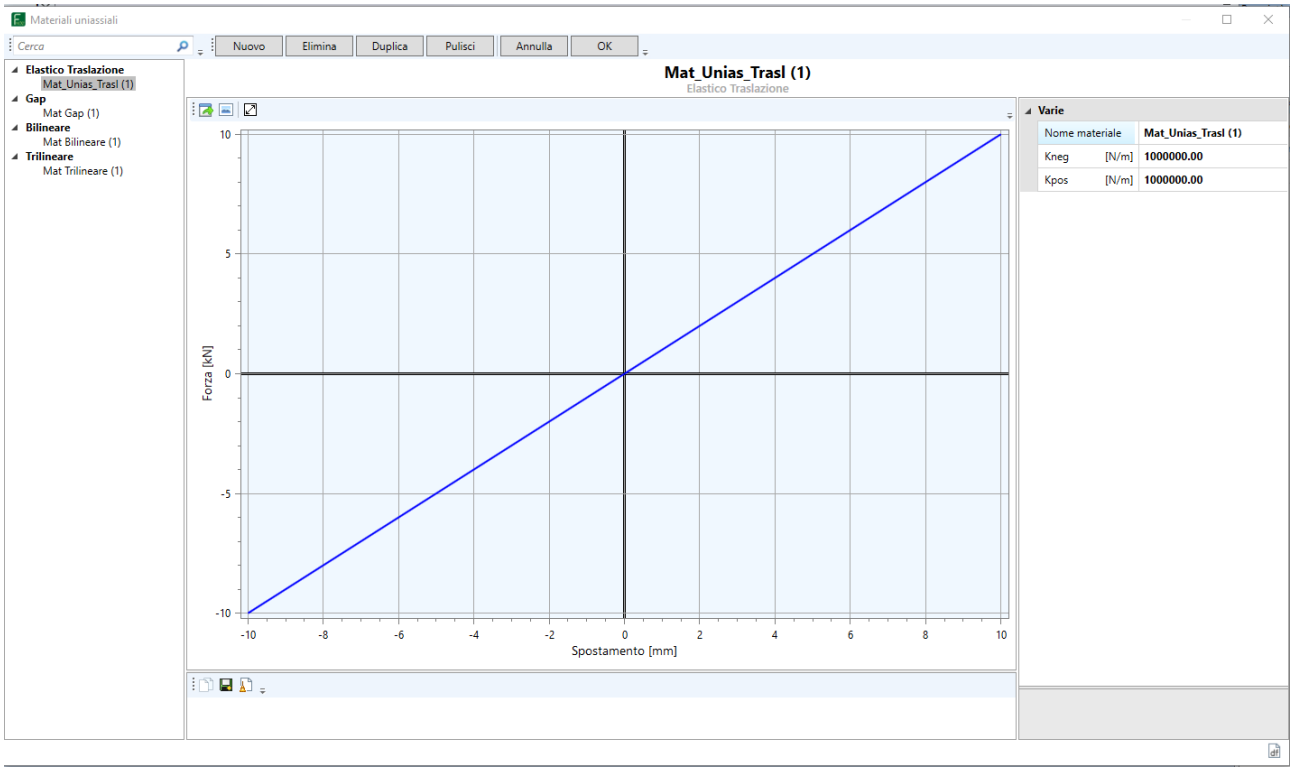

Figura 2 : Modello di comportamento elastico-lineare

Per capire meglio il concetto è possibile considerare l'esempio del grado di libertà assiale. Se i due nodi si allontanano allora la deformazione è positiva (trazione) e quindi verrà utilizzato il parametro Kpos. Nel caso di compressione (i nodi si avvicinano) verrà utilizzato Kneg.

Chiaramente questo concetto è valido se si utilizzano **analisi non lineari**. Nel caso di analisi lineare verrà utilizzata la sola Kneg.

Questo tipo di comportamento può essere utilizzato, per esempio, per modellare elementi con diversa rigidezza a trazione o compressione. I valori di rigidezza possono assumere anche valore nullo, in modo da considerare il **comportamento monolatero**.

Comportamento Gap

I parametri del materiale uniassiale “**Gap**” sono una rigidezza (K) e due deformazioni. La deformazione “Gap” è utilizzata come **valore di attivazione** della compressione. La deformazione “Hook” è relativa alla trazione.

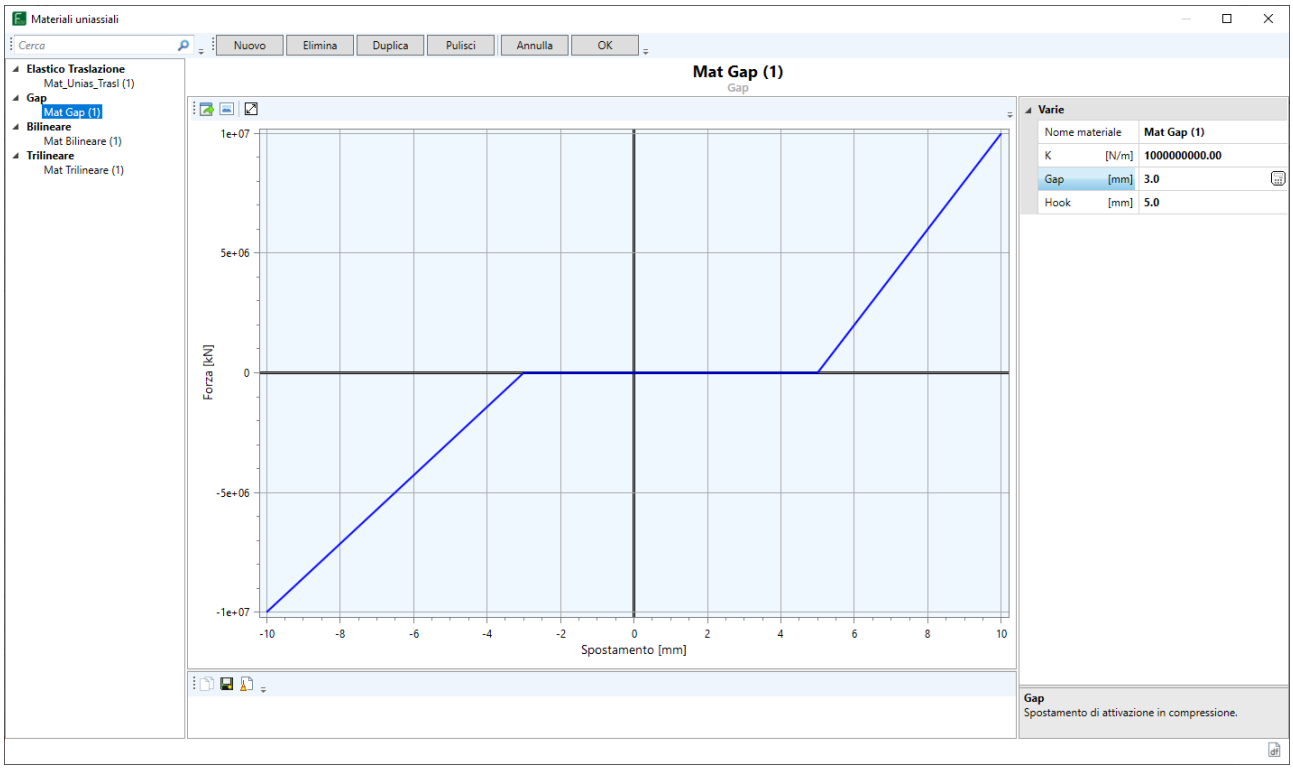

Figura 3 : Modello di comportamento di tipo "Gap"

Pertanto la rigidezza K non sarà attiva fino al raggiungimento del relativo valore di attivazione. Questo Link è particolarmente utile per la **modellazione del fenomeno del martellamento**, nel quale il Gap rappresenta la dimensione del giunto tecnico. In questo caso la rigidezza K assumerà valori elevati.

Comportamento Bilineare

I parametri del materiale uniassiale “**Bilineare**” sono relativi a forza e deformazioni dei due punti caratteristici della curva: il punto di snervamento (1) e di capacità ultima (2).

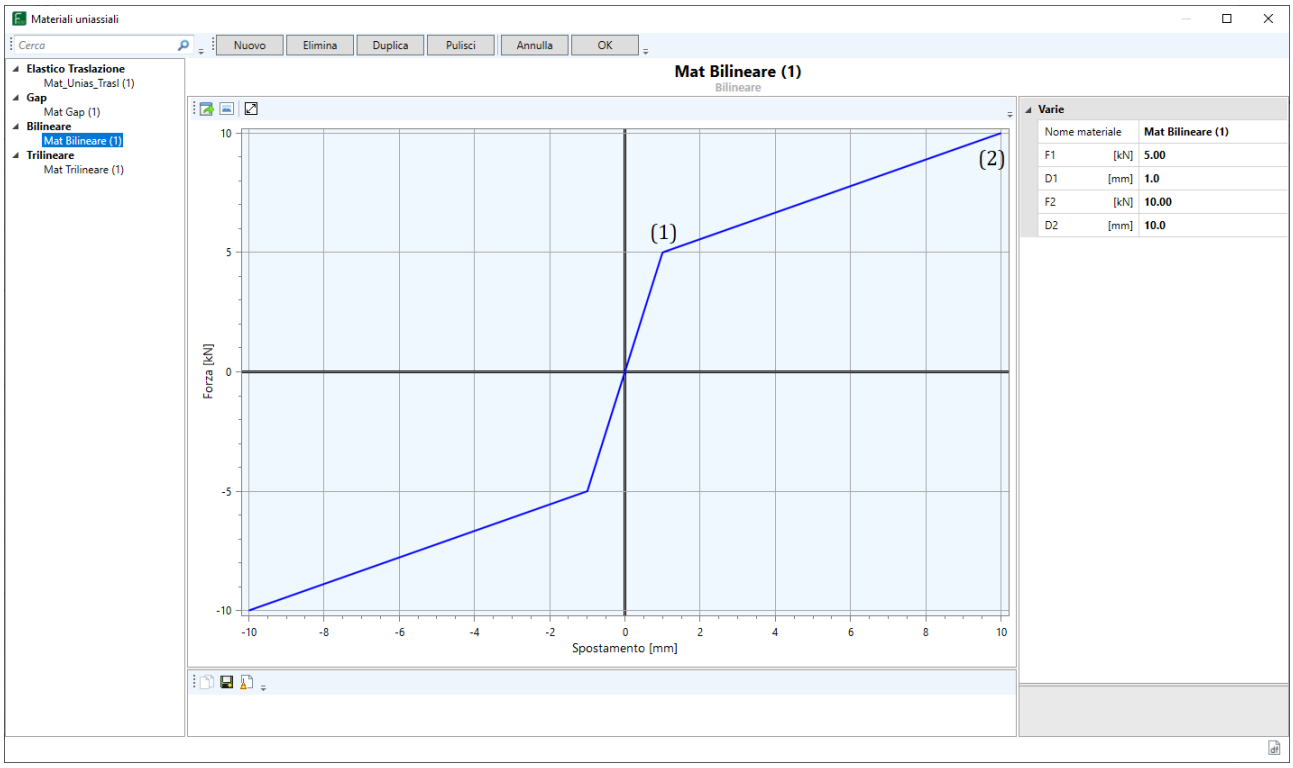

Figura 4 : Modello di comportamento di tipo "bilineare"

Questo tipo di comportamento è utile alla modellazione di diversi tipi di **dispositivi antisismici**, come ad esempio i **dissipatori a stabilità impedita** (es BRAD®), ma anche per la modellazione di **maschi murari** o **tamponature**.

Il **materiale bilineare uniassiale** può essere utilizzato anche con l'**analisi dinamica non lineare**, ottenendo i grafici dei cicli isteretici per la direzione alla quale è applicato.

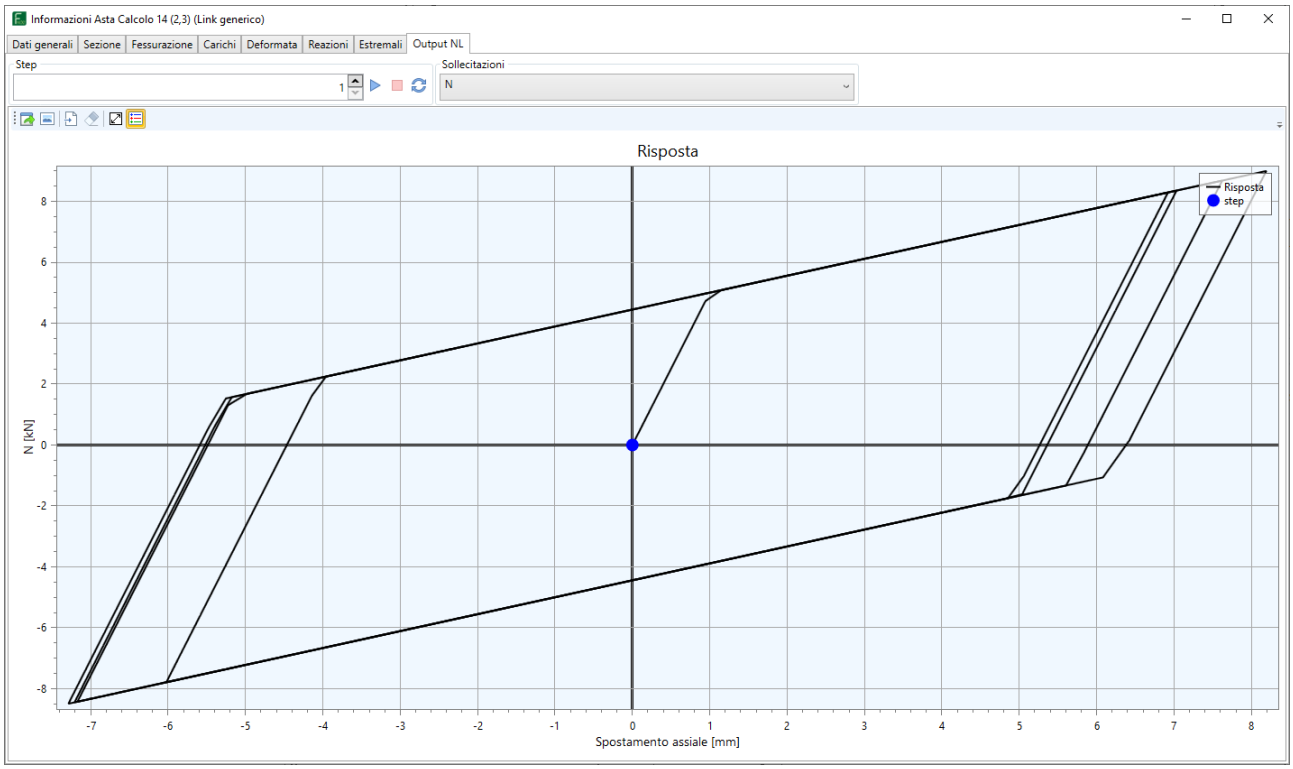

Figura 5 : Esempio di ciclo isteretico modello "bilineare"

Comportamento Trilineare

I parametri del materiale uniassiale "**Trilineare**" sono relativi a forza e deformazioni di tre punti caratteristici della curva: il punto di fessurazione (1), di snervamento (2) e di capacità ultima (3). I valori caratteristici possono essere differenziati per i due rami delle deformazioni, positive e negative.

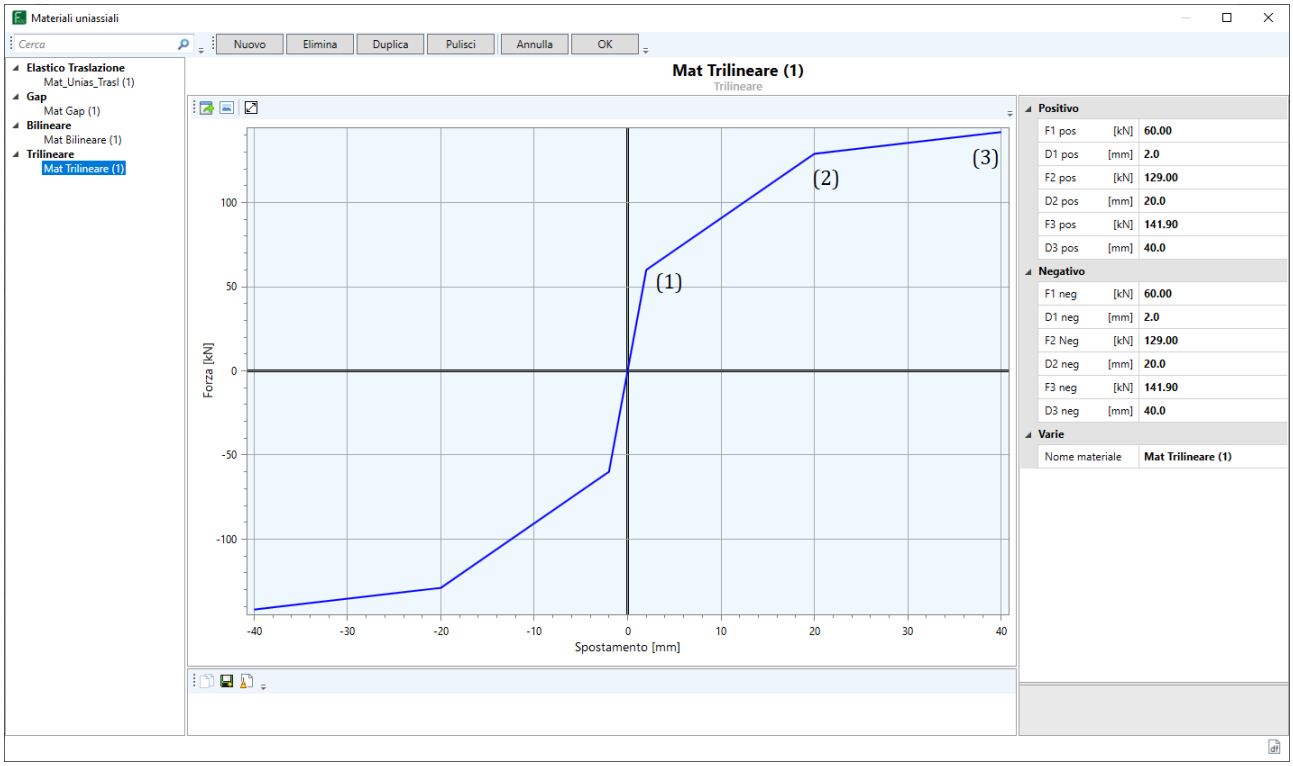

Figura 6 : Modello di comportamento di tipo "trilineare"

Il modello consente anche l'utilizzo di **rami di rigidezza degradanti** (es. softening). Questo tipo di comportamento può essere utilizzato per la **modellazione di cerniere plastiche, maschi murari, dispositivi antisismici, tamponature**, ecc.

Anche per questo modello è possibile l'utilizzo con l'**analisi dinamica non lineare** per l'elaborazione dei cicli isteretici.

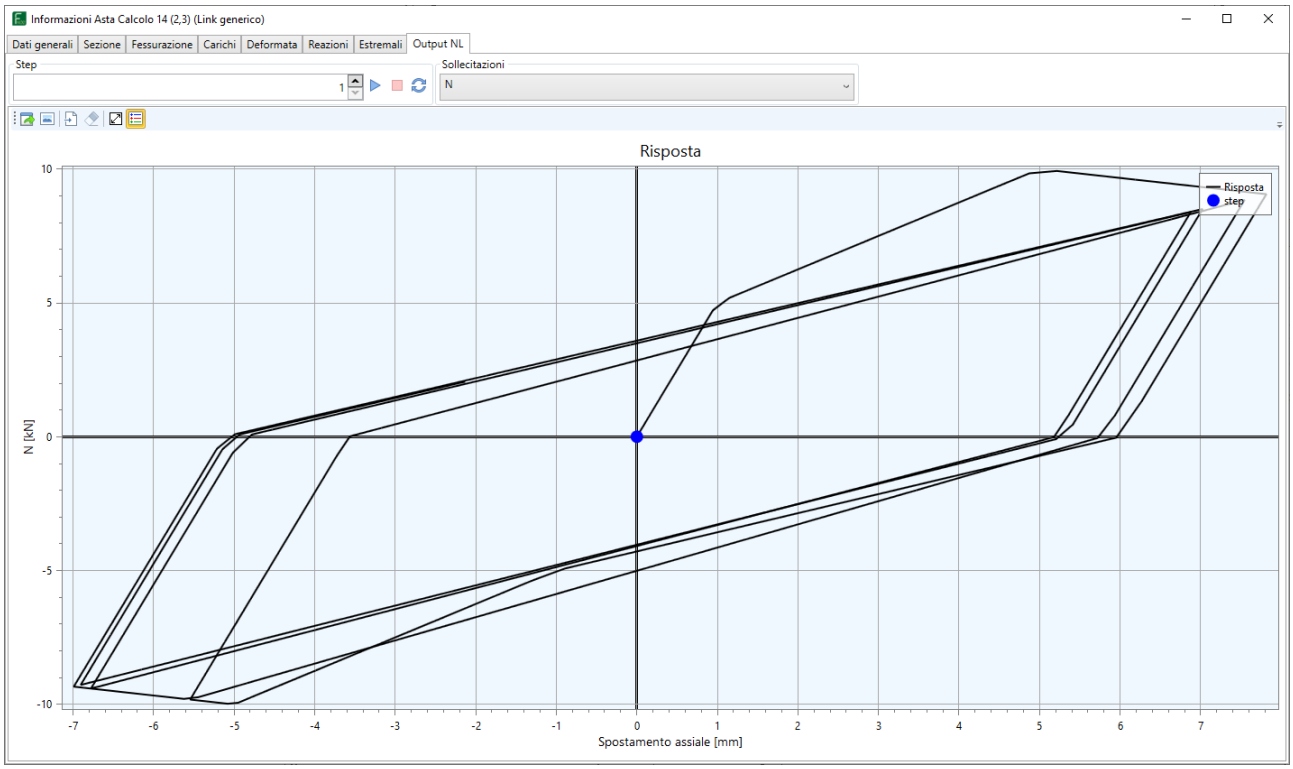

Figura 7 : Esempio di ciclo isteretico modello "trilineare"

Esempio di modellazione con Link: il problema del martellamento

Il problema del **martellamento** tra due edifici è da sempre il più difficile da valutare. L'unica analisi con la quale si può affrontare è l'**analisi dinamica non lineare**.

Oltre al tipo di analisi, è fondamentale in questo caso l'utilizzo di appositi elementi finiti come il "**Gap**".

Qui di seguito vengono proposti due diversi approcci, il primo più didattico ed il secondo più pratico.

Nel **primo esempio** utilizziamo due strutture con caratteristiche di rigidezza molto diverse. La **struttura A** a due piani e con pareti in c.a. e la **struttura B** a tre livelli con pilastri esili.

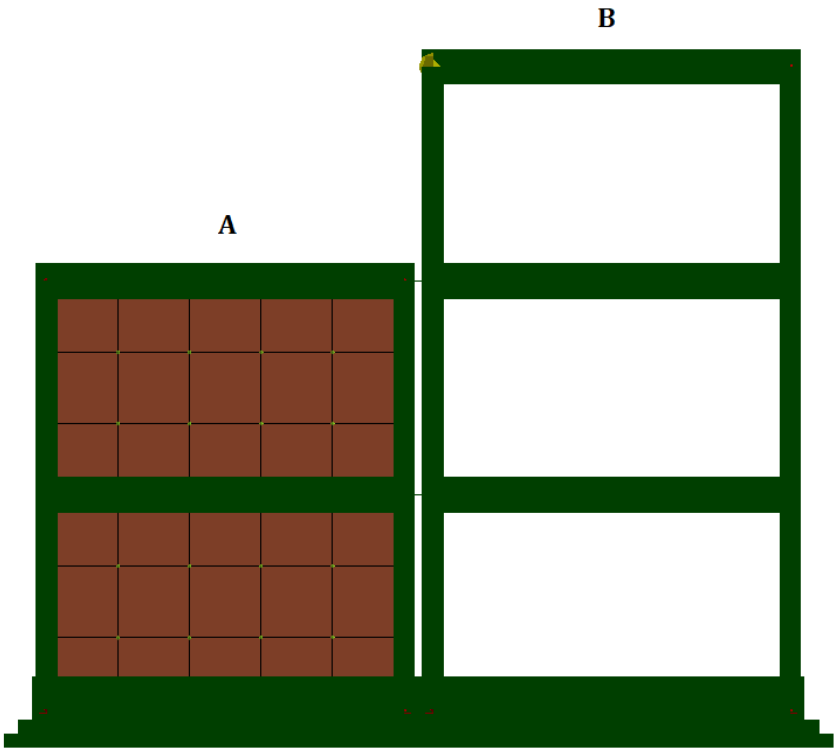

Figura 8 : Modelli relativi al primo esempio

Tra le due strutture sono stati applicati dei **Link** di tipo "Gap", impostando il campo Gap a 30 mm come dimensione del **giunto tecnico**. Il valore dell'Hook è posto a 1000 mm in modo da non far mai attivare il Link durante l'allontanamento. La **rigidezza** dell'urto è stata impostata a 1E+11.

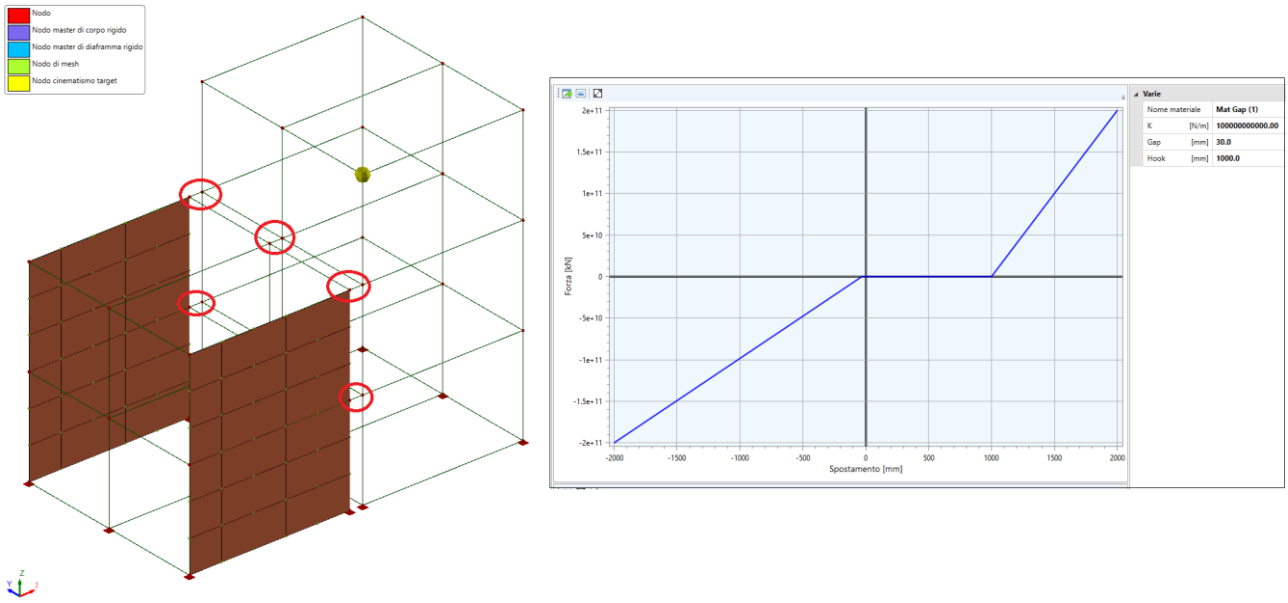

Figura 9 : Posizione e caratteristiche dei Link

Le due strutture hanno **periodi di vibrazione fondamentali** molto diversi:

- T_A = 0.030 sec
- T_B = 0.362 sec

Per poter meglio evidenziare l'urto tra le due strutture è stato applicata una **storia temporale sinusoidale** di 1 g, con periodo vicino a quello della struttura B ma non uguale, per evitare la risonanza.

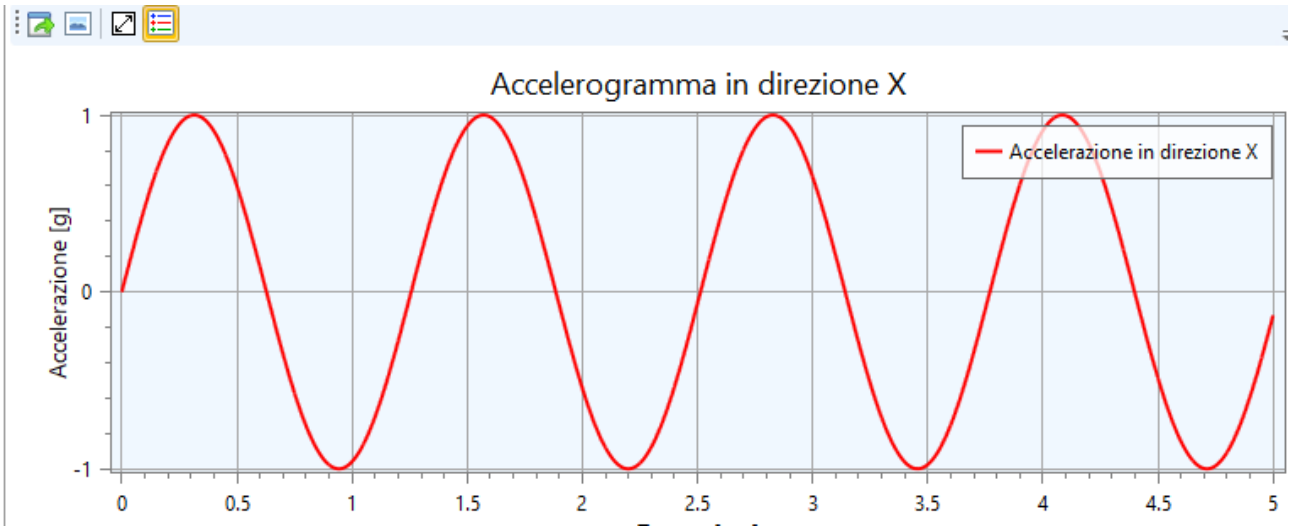

Figura 10 : Storia temporale sinusoidale applicata al primo esempio

Analizziamo adesso i risultati più importanti. Selezionando uno dei Link posti in sommità alla struttura più bassa, è possibile visualizzare il diagramma "N/tempo" che contiene tutti gli **impatti** (e le forze scambiate) tra le due strutture.

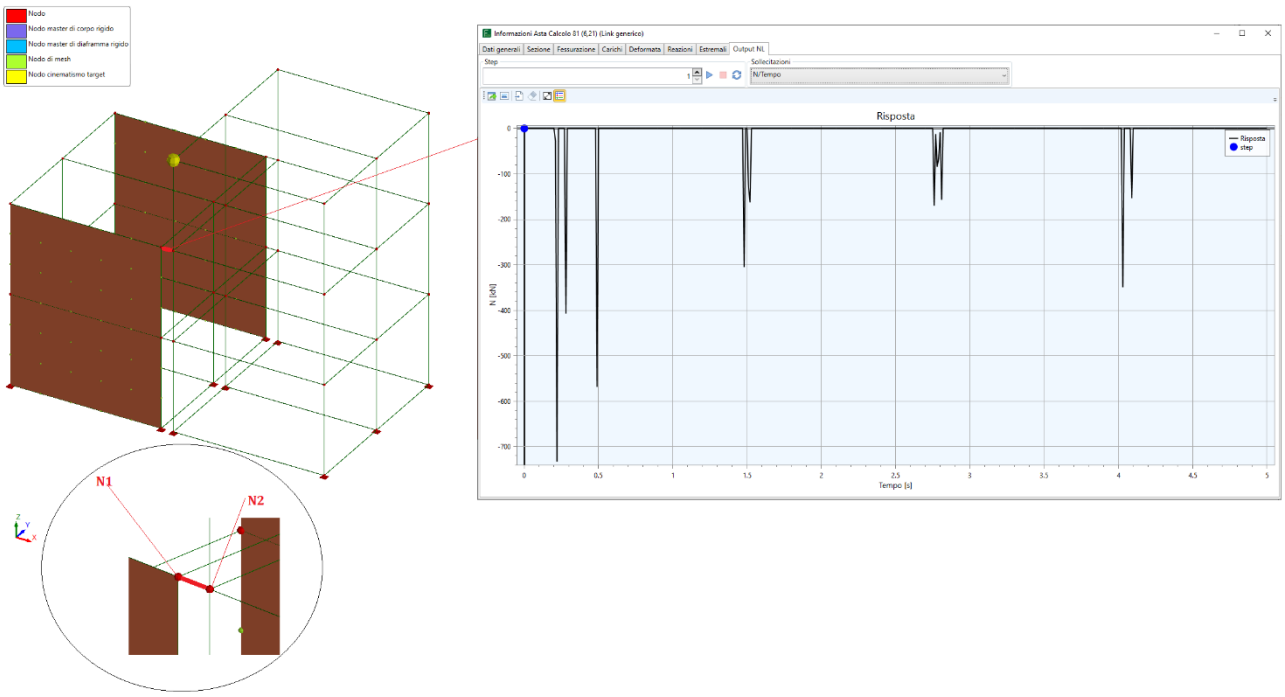

Figura 11 :Esempio di diagramma contenenente gli impatti tra le due strutture

Per comprendere ulteriormente il fenomeno basta inserire nello stesso grafico (con ascisse il tempo della storia temporale) i tre grafici:

- **Forze di impatto**
- **Spostamento orizzontale del nodo N1**
- **Spostamento orizzontale del nodo N2**

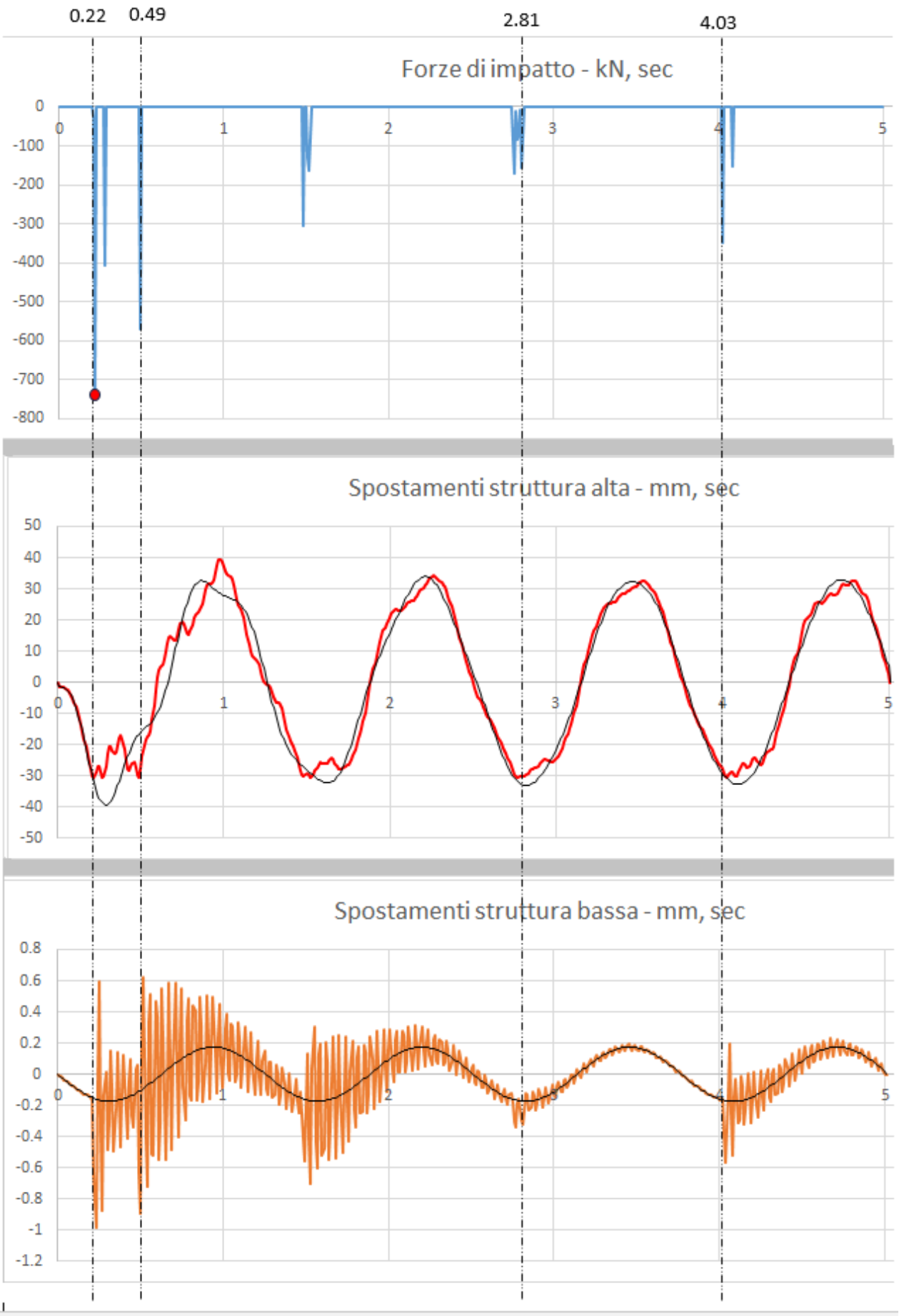

Figura 12 : Confronto tra i diagrammi impatti/spostamenti

Partiamo dall'analisi del **primo impatto**, caratterizzato da una forza scambiata di circa **730 kN**. Dall'analisi dei grafici possiamo fare alcune **osservazioni**:

1. Dopo il primo impatto (0.22 sec) lo spostamento della struttura alta (grafico rosso) si inverte e viene perturbato rispetto alle oscillazioni della struttura alta senza influenze (linea nera su grafico rosso).
2. Essendo la forzante creeata appositamente per eccitare maggioramente la struttura alta, gli spostamenti della struttura bassa risultano smorzati naturalmente e influenzati dagli impatti. Senza impatti, l'oscillazione della struttura bassa risulterebbe come una sinusoidale di ampiezza compresa tra 0.175 e -0.175 (linea nera sul grafico arancione).
3. Il primo impatto, che avviene a 0.22 sec induce un incremento di spostamento per la struttura bassa da 0.15 mm a circa 1 mm.
4. Al secondo impatto (0.46 sec) la struttura bassa risentirà di ulteriori perturbazioni e la struttura alta invertirà bruscamente il moto.
5. Tra i tempi 2.81 e 4.03 le due struttura non interferiscono tra loro e si può notare che le oscillazioni della struttura bassa (grafico arancione) tendono a concidere con quelle della struttura bassa libera (linea nera sul grafico arancione).

Questo **esempio teorico** consente di capire innanzitutto il **buon funzionamento** dell'analisi dinamica non lineare di **FaTA Next**. Inoltre, con lo studio di questi grafici si possono comprendere in maniera esaustiva i vari fenomeni legati al **martellamento**.

Adesso vediamo uno dei possibili utilizzi di questi concetti nel campo della professione pratica. **Il secondo esempio** servirà proprio ad affrontare una possibile applicazione ad un caso reale.

Il **martellamento**, in modo particolare per gli edifici esistenti, è l'unica problematica difficilmente risolvibile mediante interventi. L'esempio che affrontiamo ha come obiettivo **stabilire per quale accelerazione** le due strutture "martellano" in condizioni di **giunto tecnico non conforme** a quanto richiesto dalle norme.

In questo **secondo esempio** utilizziamo due strutture a telaio in c.a. La **struttura A** a due piani, e la **struttura B** a tre livelli con pilastri esili, analoga a quella utilizzata in precedenza. La dimensione del giunto è di 3 cm. Il **modello**, in questo caso, sarà per ogni sua parte **non lineare**. Oltre agli oggetti Link, tutte le membrature sono state modellate discretizzando le sezioni con **elementi a fibre**.

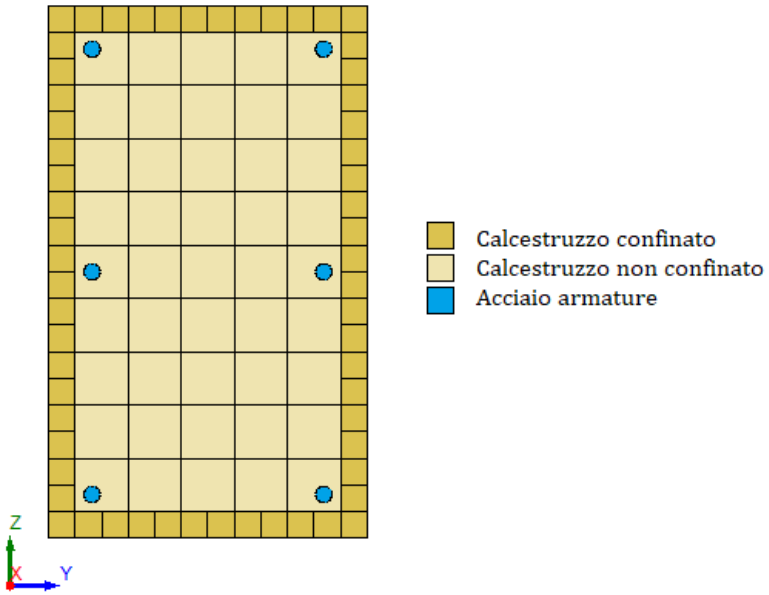

Figura 13 : Modellazione delle sezioni a fibre

Per questo esempio utilizzeremo una **sorgente sismica artificiale** spettro-compatibile, scalata a varie accelerazioni (0.1g, 0.2g, 0.3g, 0.4g).

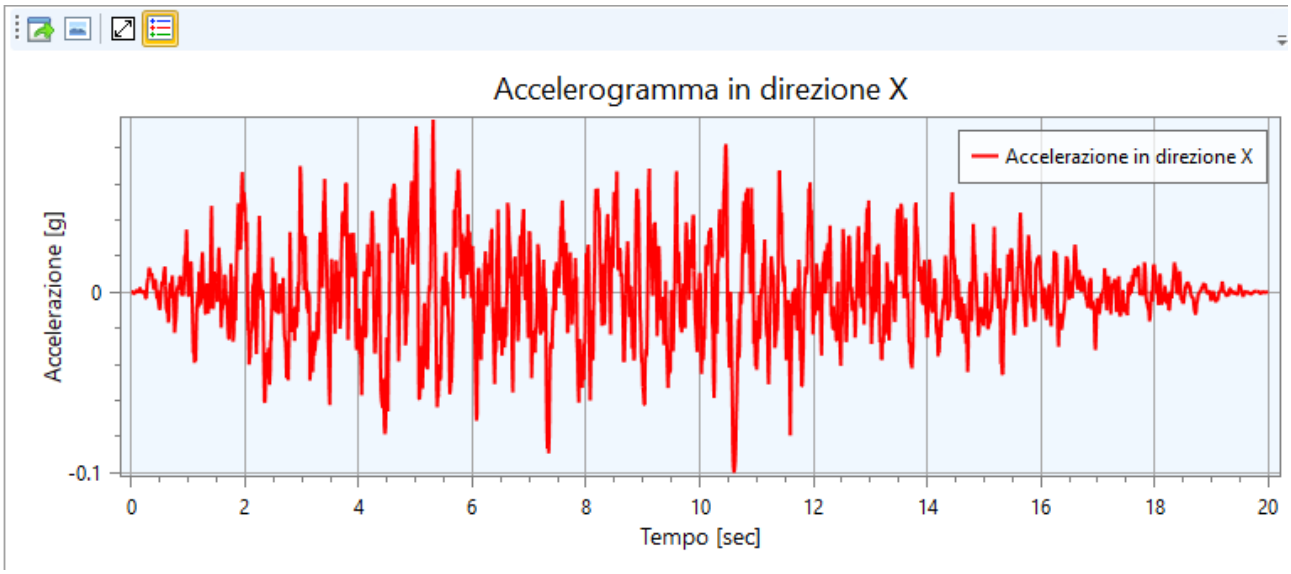

Figura 14 : Storia temporale spettro-compatibile usata per il secondo esempio

Nella lettura dei risultati ci soffermeremo in particolare sugli **effetti del martellamento sulla struttura più bassa**. I grafici che seguono riportano gli spostamenti dell'ultimo impalcato della struttura A relativi alle due condizioni:

- Struttura A isolata (diagramma blu)
- Struttura A in presenza di martellamento (diagramma arancione)

Per accelerazioni pari a **0.1g** e **0.2g** la lettura dei risultati sui link sommitali **non rilevano impatti da martellamento**, cioè il diagramma degli sforzi dei link risulta piatto.

Per l'accelerazione **0.4g** le due strutture hanno **vari episodi di martellamento** (curva ad impulsi di colore nero) che comportano minime variazioni di condizioni della struttura A e **non condizionano significativamente** la stabilità dell'edificio basso.

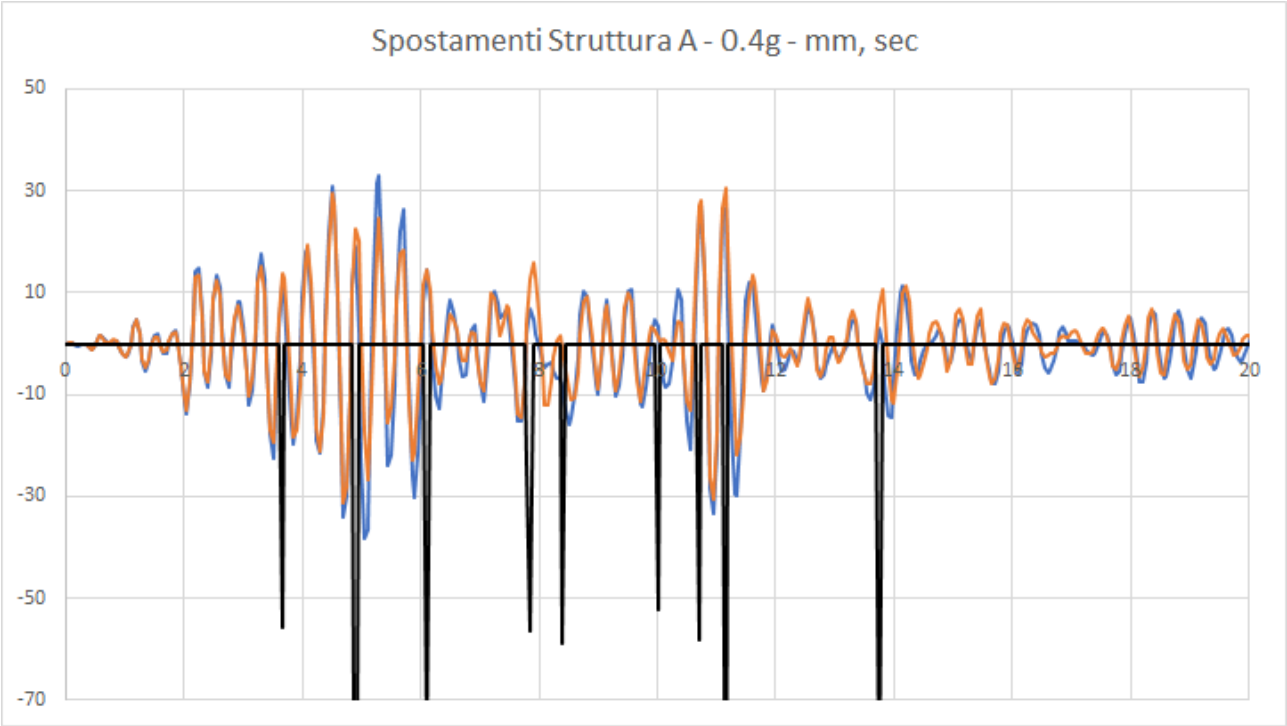

Figura 15 : Confronto impatti/spostamenti della struttua A (ag = 0.4g)

Aumentando ulteriormente l'accelerazione a **0.6g** gli effetti del **martellamento** risulteranno **determinanti** per la stabilità della **struttura bassa**. Questo è dovuto sia per il contenuto in frequenza dell'accelerogramma, sia per le maggiori accelerazioni (e quindi forze) determinate dagli urti tra le due strutture.

Analizzando l'analogo grafico visto in precedenza, elaborato a 0.6g, risulta che al tempo di 4.5 secondi si ha il collasso della struttura A (edificio basso).

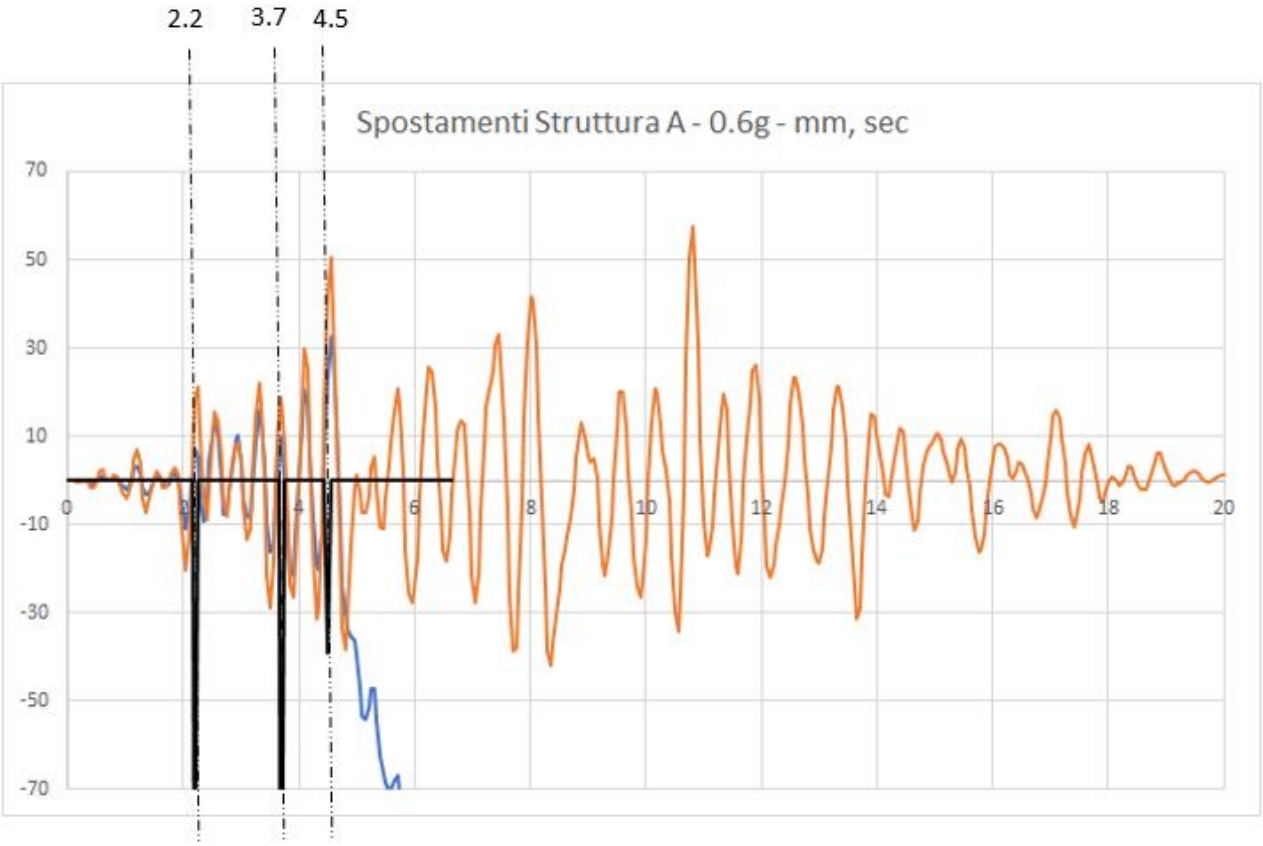

Figura 16 : Confronto impatti/spostamenti della struttua A (ag = 0.6g)

Altre importanti considerazioni si possono fare controllando le **sollecitazioni** agli step interessati dagli impatti, confrontati con gli step precedente e successivo.

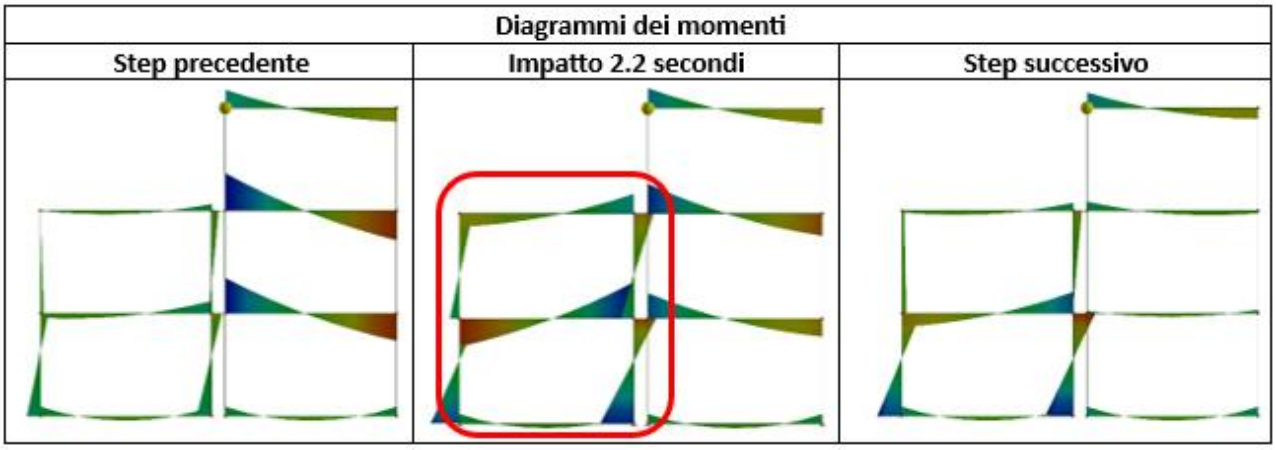

Figura 17 : Diagrammi dei momenti nell'intorno dello step interessato dall'impatto 2.2 sec

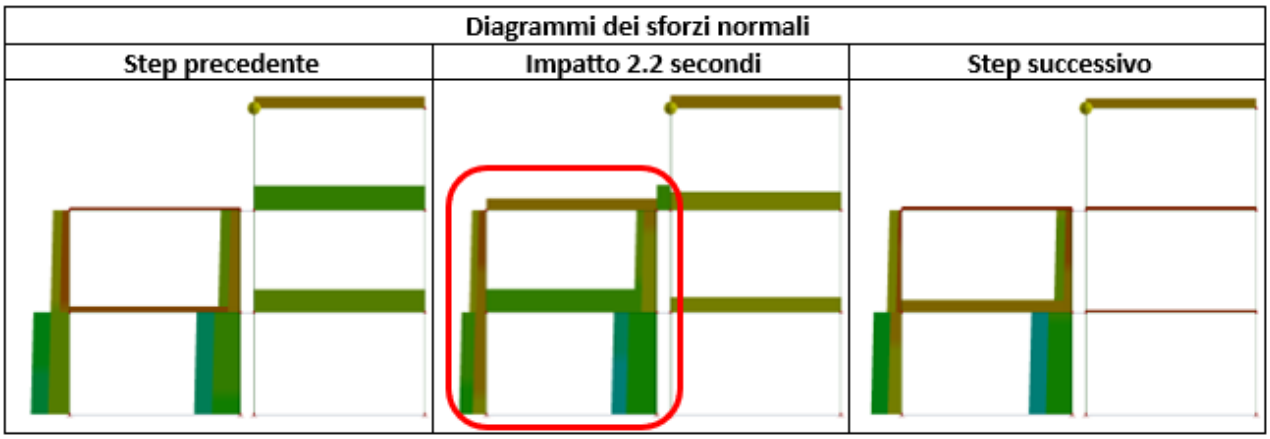

Figura 18 : Diagrammi degli sforzi nell'intorno dello step interessato dall'impatto 2.2 sec

Nelle figure precedenti sono riportati i grafici delle sollecitazioni nei dintorni temporali del primo impatto avvenuto al tempo **2.2 sec**. Come possiamo notare allo step che caratterizza l'impatto le **sollecitazioni** della struttura A subiscono un **aumento** sia di momento (in realtà anche del taglio) che di sforzo normale.

Lo stesso fenomeno avviene sia allo step relativo a **3.7 sec** e a **4.5 sec**. Quest'ultimo impatto, caratterizza il collasso della struttura bassa A. Nell'immagine sottostante possiamo notare le deformate associate ai tre step interessati: precedente, 4.5 sec e successivo.

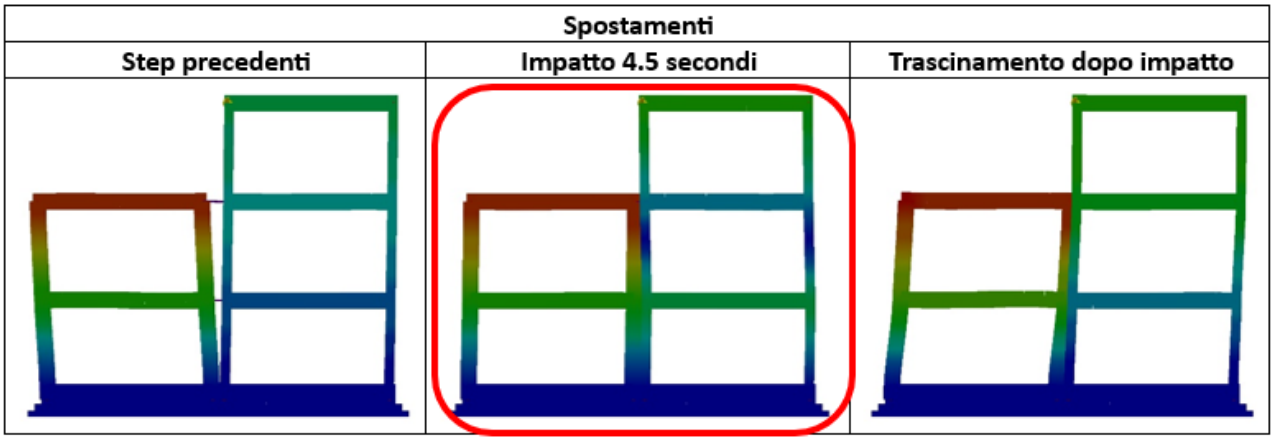

Figura 19 : Deformate nell'intorno dello step interessato dall'impatto 4.5 sec

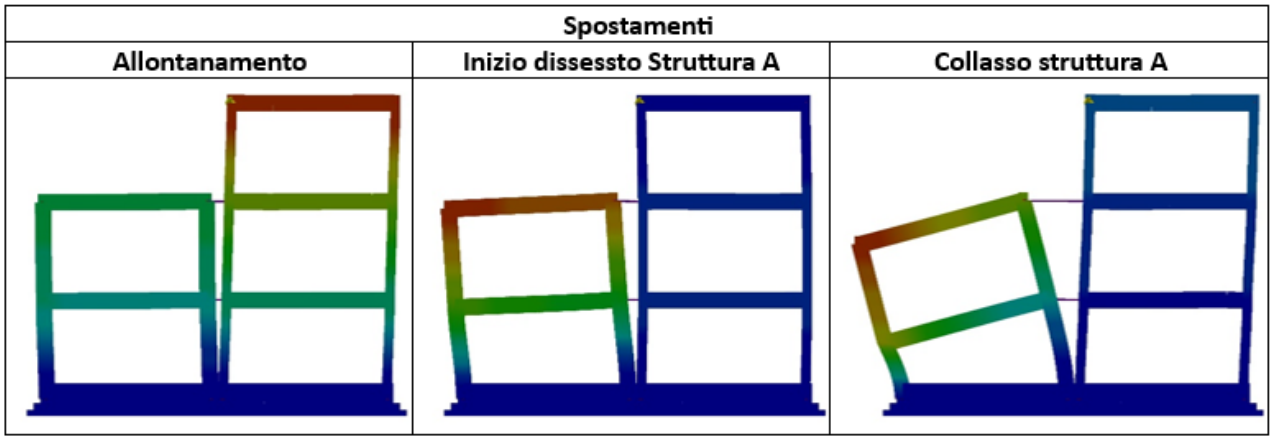

Figura 20 : Deformate nell'intorno dello step interessato dal collasso

Le figure precedenti mostrano la sequenza degli eventi che precedono l'impatto e che ne conseguono:

1. Negli "**Step precedenti"** le due strutture sono in controfase (allontanamento);
2. Allo step relativo a **4.5 secondi** avviene **l'impatto** (controfase in avvicinamento);
3. Dopo l'impatto c'è la fase di **trascinamento** della Struttura B ad opera della Struttura A;
4. In seguito all'impatto le due strutture si **allontanano** come se "rimbalzassero";
5. Dopodichè la **Struttura A** inizia il **dissesto**;
6. Infine si presenta il **collasso della Struttura A** dovuto all'incremento delle sollecitazioni sulla colonna sinistra (fenomento tipo "contraccolpo")

Come abbiamo visto, i risultati del software evidenziano ciò che avviene durante il fenomeno conosciuto come **"urto elastico"**, cioè caratterizzato dalla conservazione dell'energia meccanica. In realtà oltre alle conseguenze sugli elementi strutturali, all'urto tra le due strutture ne consegue un danno localizzato che dissipa una certa quantità di energia.

La **modellazione** di questa dissipazione, ancor più complesso, può essere fatta in **FaTA Next** utilizzando due **Link in serie**, cioè affiancando un Link di tipo **"Gap"** con un Link elasto-plastico di tipo **"Bilineare"** (vedi figura sotto) o anche **"Trilineare"**.

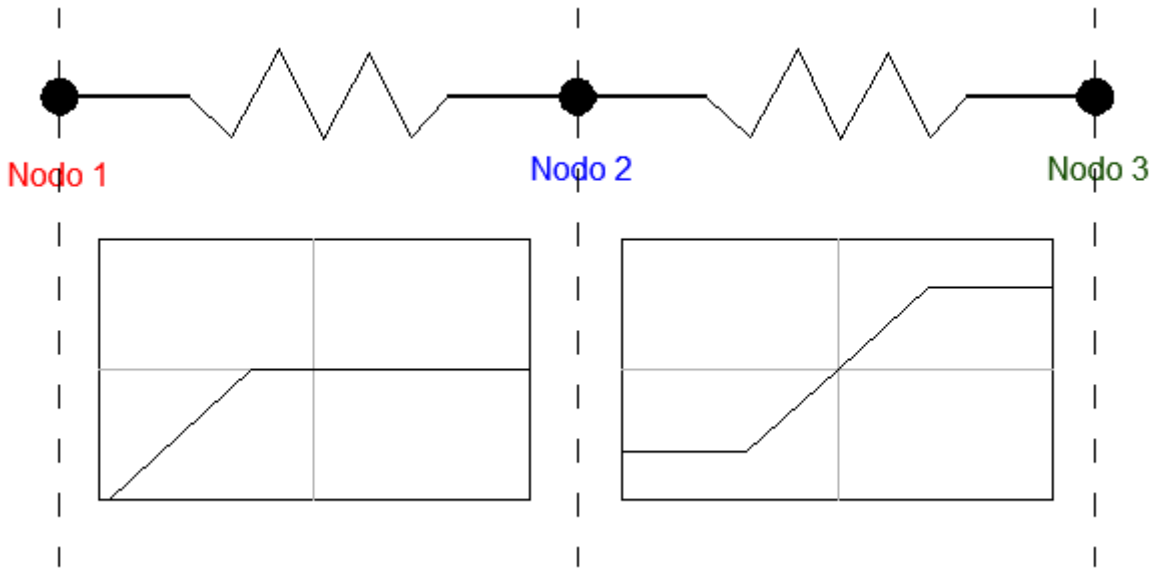

Figura 21 : Esempio di assemblaggio di due link per la valutazione della dissipazione

Concludendo, abbiamo visto una delle tante **possibili applicazioni** dell'oggetto **Link** nella modellazione di **FaTA Next**. Oltre al martellamento, altri esempi di utilizzo (in campo lineare e non lineare) sono ad esempio:

- Controventi dissipativi (anche a stabilità impedita)
- Cerniere plastiche concentrate
- Dissipatori isteretici
- Dispositivi antisismici
- Appoggi elastici e non
- Bielle per solai/pannelli deformabili
- Bielle per tamponature/muratura confinata
- Dissassamenti/collegamenti tra parti o elementi strutturali
- Maschi murari (telaio equivalente)
- Contatto tra parti struttura e/o terreno

Questo oggetto di modellazione di **FaTA Next** consente di **elaborare e personalizzare** i modelli di calcolo, in aggiunta alle **numerose opzioni** ed automatismi già presenti nel software, che oggi si pone ancor di più come strumento potente e versatile per l'analisi strutturale.